Untersuchungen über die Stromleitung sehr schlecht leitender fester Körper.

Inaugural-Dissertation

einer

hohen philosophischen Fakultät (II. Sektion)

der

K. B. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt am 17. Februar 1900

von

Zacharias Epstein.

Berlin.
Druck von E. Ebering.
Mittelstrasse 29.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548318_0053

I. Allgemeine Untersuchungen über das Verhalten dünner Schichten sehr schlecht leitender Körper im Schliessungskreise einer Stromquelle.

1. Die Erscheinungen, welche bei der Stromleitung von Substanzen wie Paraffin, Schwefel, Guttapercha etc. beobachtet werden können, Substanzen, die man als Nichtleiter der Electricität bezeichnete und die nach den neueren Forschungen nur als sehr schlechte Leiter derselben erkannt worden sind, bieten einige Eigentümlichkeit und Mannigfaltigkeit, welche bei den guten Leitern gänzlich fehlt. Daher scheinen die ersteren dazu geeignet zu sein, auf das allgemeine Problem der Natur der electrischen Leitung, die in guten Leitern wegen der ausgesprochenen Gleichförmigkeit des Vorganges keine für die Untersuchung so erwünschte Zergliederung desselben zulässt, einiges Licht werfen zu können.

2. Untersuchungen über die Stromleitung dieser Körper sind in verschiedener Weise ausgeführt worden. Foussereau[1] untersuchte das Verhalten des Schwefels bei hohen Temperaturen und im geschmolzenen Zustande, bei gewöhnlichen Temperaturen hat er keine Leitfähigkeit wahrnehmen

1. G. Foussereau, Comptes rendus, 97, p. 996. 1883.

können. Brester[1] untersuchte Collodium und verschiedene Gummilösungen und fand dabei mehr oder weniger ausgesprochene Anzeigen einer electrolytischen Leitung. In reinem und festem Zustande und bei gewöhnlichen Temperaturen wurden diese Substanzen eingehend zuerst von Schulze-Berge[2] untersucht. Bevor ich aber zu diesen Untersuchungen übergehe, möchte ich eine Reihe von Untersuchungen anführen, die von Quincke, von Kohlrausch und Heydweiler und von Warburg herrühren und sich auf sehr schlecht leitende Flüssigkeiten beziehen. Die Erscheinungen, die sich dabei wahrnehmen liessen, haben in mehreren Punkten grosse Aehnlichkeit mit denjenigen, die man an festen Körpern beobachten kann, und könnten daher zur Deutung der letzteren beitragen.

3. Quincke[3] untersuchte mehrere schlecht leitende Flüssigkeiten wie Aether, Schwefelkohlenstoff, Terpentinoel etc. und fand, dass bei allen diesen Substanzen eine Aenderung der E. M. K. im Schliessungskreise eine entsprechende Aenderung der Stromstärke hervorruft, die aber rascher wächst als die E. M. K. Klare Anzeigen einer electrolytischen Leitung fand Quincke nicht, er beobachtete nur in einzelnen Fällen, nämlich bei sehr grossen E. M. K. Ausscheidungen an den Electroden, deren Beschaffenheit aber von ihm nicht näher untersucht wurde.

---

1. Brester, Archiv. néerland. des sciences exactes 1866, 1, 296; Archives Nouv. Sér. 28, 60 1866.

2. Verhandl. der phys. Ges. zu Berlin IV, 90—92; Fortschritte d. Phys. 1885, p. 664.

3. G. Quincke, Wied. Ann. 28. 542 und ff. 1886.

F. Kohlrausch und A. Heydweiler[1] haben bei ihren umfangreichen Untersuchungen der Stromleitung von destilliertem Wasser gefunden, dass reines, noch unbenutztes Wasser wenige Sekunden nach Stromschluss eine Vergrösserung des Leitvermögens zeigt, welche bei gleich bleibendem Strome ansteigt und nach einer mit der Stromstärke veränderlichen Zeit eine Grenze erreicht, um dann wieder mehr oder weniger abzunehmen. Dieser Vorgang verlief um so rascher, je grösser die Stromstärke war. Ganz ähnliche Erscheinungen wurden auch an Lösungen verschiedener Salze wie K_2SO_4, NaCl und KCl gefunden. Was die Erklärung dieser Erscheinungen betrifft, so wird die Widerstandsverminderung dadurch erklärt, dass die bei der Electrolyse des Salzes sich bildenden Basen und Säuren, die bald selbst an der Leitung als Electrolyte teilnehmen, besser leiten als das Salz selbst. Die nachträgliche Widerstandsvermehrung beruht nun darauf, dass die an der Anode und Kathode entstehenden Säuren und Basen z. B. im Falle des K_2SO_4: die H_2SO_4 und das KOH von den Electroden aus in die Flüssigkeit vordringen und Ionen geben, von welchen die H- und OH-Ionen von den Electroden in die Flüssigkeit wandern und die SO_4- und K-Ionen zu den betreffenden Electroden zurückkehren. Dringen nun die H_2SO_4 einerseits und das HOH andererseits in die Flüssigkeit hinein bis zur gegenseitigen Berührung, so wandern von dieser Berührungsstelle aus die H- und K-Ionen nach der Kathode, die SO_4- und OH-Ionen nach der Anode, und die Berührungsstelle selbst

1. F. Kohlrausch u. A. Heydweiler, Wied. Ann. 53. 219. 1894; 54. 385. 1895.

wird somit vom gelösten Stoffe frei, indem sich hier allmählich eine Schicht von Wasser bildet, die durch ihr minimales Leitvermögen die beobachtete Widerstandsvermehrung herbeiführt.

Durch die Untersuchungen von E. Warburg[1] ist es ferner möglich gemacht worden, die örtlich verschiedenen Widerstandsänderungen des Electrolyten zu ermitteln. In ein cylindrisches Rohr, welches an seinen Enden kreisförmige Electroden erhielt, wurden drei Platinsonden in gleichem Abstand von einander und von den Electroden hineingebracht. Durch Messung der Potentialunterschiede an Electroden und Sonden, sowie an den Enden eines in den Kreis eingeschalteten bekannten Widerstandes ermittelte man die Grössen der Widerstände in den vier Abteilungen des Rohres. Je nach der Beschaffenheit des untersuchten Lösungsstoffes erhielt man in den Abteilungen des Rohres Verminderungen resp. Vermehrungen des Widerstandes, welche bei bekannten Electrolyten mit den aus der Theorie der electrolytischen Leitung gefolgerten Widerstandsänderungen vollkommen übereinstimmten. Daraus schliesst Warburg, dass auch im Falle des destillierten Wassers, Anilins, Amylalkohols und anderer schlecht leitender Substanzen jedesmal die Leitung durch näher unbekannte Electrolyte besorgt wird, die sich in sehr verdünntem Zustande in der Substanz befinden. Aus den örtlichen Widerstandsänderungen, welche dabei beobachtet werden, kann auf die Beschaffenheit dieses unbekannten Electrolyten geschlossen werden.

1. E. Warburg, Wied. Ann. 54. 415. 1895.

Im weiteren Verlaufe der Untersuchungen der schlecht leitenden festen Körper werden uns Erscheinungen begegnen, die den eben beschriebenen ganz analog sind.

4. Ich gehe nun zu den Versuchen von Schulze-Berge über.

Schulze-Berge[1] untersuchte hauptsächlich Guttapercha und zwar in Form von sehr dünnen Schichten von einigen Hundertstel Millimeter Stärke. Das hierzu verwendete Guttaperchapapier wurde zwischen zwei Messingplatten gebracht, die durch Erwärmen an das Guttapercha fest angepresst wurden. Dann wurde der Widerstand des Guttapercha in der Weatstone'schen Brücke gemessen. Es ergab sich, dass derselbe mit der Aenderung des Widerstandes im Kettenzweige, der ein Danielelement enthielt, variiert. Auf ähnliche Weise wurden auch Paraffin und Schwefel untersucht, allein man konnte in diesen Fällen wegen der grossen Schwankungen und der Unruhe des Galvanometers keine Gleichmässigkeit in der Erscheinung feststellen. W. Leick[2], der die Versuche von Schulze-Berge wiederholt und weiter geführt hat, fand die nämliche Erscheinung und konstatierte, dass der Widerstand von Guttapercha, Paraffin und Schwefel mit wachsender Stromstärke des Kreises abnimmt und dass derselbe der Dicke der dielectrischen Schichten nicht proportional ist, sondern viel rascher als dieselbe wächst. Ausserdem beobachtete Leick, indem er in den Schliessungskreis ein Telephon einschaltete, ein eigentümliches Geräusch in dem-

1. Schulze-Berge, l. c.
2. W. Leick, Wied. Ann. 66. 1107. 1898.

selben, welches im Moment des Schliessens am stärksten war und nach kurzer Zeit, allmählich abnehmend, verschwand. Als er die dielectrische Schicht durch einen metallischen Widerstand ersetzt hat, konnte er diese Erscheinung nicht mehr wahrnehmen.

5. Bei meinen Untersuchungen habe ich zuerst nach dem Beispiel von Schulze-Berge dünnes Guttaperchapapier von 0.04 bis 0.06 mm Stärke zwischen zwei Messingplatten von 15 cm Durchmesser gebracht und dabei versucht, durch grosse und unveränderliche Belastung der Schicht ein ruhiges Verhalten des in den Schliessungskreis eingeschalteten Galvanometers zu erzielen. Es stellte sich bald heraus, dass mit steigender Belastung der Messingplatten die Unruhe des Galvanometers bedeutend abnimmt, und ich führte nun alle nachfolgenden Untersuchungen in folgender Anordnung aus.

6. Ein Stück Guttaperchapapier wurde auf eine der Messingplatten gelegt, die über einer Gasflamme an den Rändern etwas erwärmt wurde, so dass das Guttapercha sich glatt auf derselben aufspannen liess und an den erwärmten Rändern etwas festklebte. Die zweite Messingplatte wurde nun auf das aufgespannte Guttapercha gelegt und das Ganze zwischen zwei ca. 10 cm hohe cylindrische Holzklötze von einem Durchmesser, der um etwas geringer war als derjenige der Messingplatten, gebracht. (Fig. 1.)

Zur gleichmässigen Verteilung des auszuübenden Druckes wurden zwischen die Holzklötze und Messingplatten Scheiben aus weichem Kautschuk gelegt. Dieselben dienten zugleich zur Isolierung. Ein Federmanometer, an welchem man den herrschenden Gesamtdruck

ablesen konnte, wurde centrisch über dem oberen Holzklotz befestigt und das Ganze in eine hölzerne Schraubenzwinge gebracht, wie es aus der Figur zu ersehen ist. Dabei wurde, um einen excentrischen Druck zu vermeiden, zwischen dem unteren Holzklotz und der Schraubenzwinge ein Kugellager hergestellt.

In dieser Weise habe ich nun mehrere Guttapercha-Blättchen untersucht. In Fig. 2 ist der Verlauf des Widerstandes, welchen ein solches Blättchen unter veränderlichem Drucke gezeigt hat, graphisch dargestellt. Der Widerstand wurde in der Weatstone'schen Brücke gemessen. Nach beendeter Untersuchung wurden die Platten auseinandergenommen und es wurde festgestellt, dass das Guttapercha ganz tadellos war, es waren weder Risse noch Falten wahrzunehmen. Ueberhaupt beobachtete ich nicht die von Leick angegebenen Beschädigungen des Guttaperchas nach dem Auseinanderreissen der Platten, was vielleicht darin seinen Grund haben wird, dass ich ein sattes Anliegen des Guttaperchas an die Platten nicht durch nachträgliches Erwärmen der Platten — nachdem das Guttapercha dazwischen lag —, sondern lediglich durch grossen Druck herbeiführte.

7. Es ist zu erwähnen, dass bei Versuchen mit käuflichem Guttapercha darauf zu achten ist, dass dasselbe von metallisch leitenden Verunreinigungen frei sei. Es zeigte sich nämlich, dass beim Zusammendrücken der Ränder der Messingplatten an einer bestimmten Stelle das Galvanometer heftig ausschlug, und erst beim Loslassen der gedrückten Stelle ging der Ausschlag zurück. Durch Drehen des Guttaperchablättchens zwischen den Platten konnte

man ermitteln, dass nur beim Drücken einer bestimmten Stelle desselben die Erscheinung sich einstellt, und als diese Stelle herausgeschnitten wurde, wiederholte sie sich nicht mehr. Bei einigen Exemplaren musste ich 2 bis 3 Stellen herausschneiden, bis ein lokales Zusammendrücken der Messingplatten keinen Einfluss mehr auf das Galvanometer ausübte.

8. Dass aber nicht etwa die Leitfähigkeit des Guttaperchas überhaupt auf metallisch leitende Verunreinigungen zurückzuführen sei, geht wohl aus den eigentümlichen Erscheinungen hervor, die man an dieser Art von Leitung wahrnimmt: sie nimmt mit wachsender Stromstärke zu und unterliegt bei konstant bleibender Stromstärke fortwährenden mehr oder minder ausgesprochenen Schwankungen.

9. Ich will nun im Folgenden alle charakteristischen Erscheinungen, die ich bei der Untersuchung des Guttaperchas, sowie des Paraffins und Schwefels in der Regel beobachtet habe, systematisch zusammensetllen:

Ein Guttapercha-Blättchen wurde in den Schliessungskreis einer aus einer Zahl von Bleiakkumulatoren bestehenden Batterie eingeschaltet. Der Kreis enthielt noch einen Widerstandskasten, einen Unterbrecher, ein Telephon und ein im Nebenschluss befindliches Deprez-Galvanometer, dessen Empfindlichkeit $= 10^{-8}$ Amp. betrug. Bei einer Spannung von 2 V. hörte man im Telephon in der Regel nur beim Schliessen des Unterbrechers einen leisen Knall, wobei das Galvanometer momentan ausschlug und um die Ruhelage zu pendeln begann. Beim Oeffnen des Unterbrechers hörte man dann im Telephon gar nichts.

10. Nun vergrösserte ich die E. M. K. des Kreises. Der Knall beim Schliessen des Unterbrechers wurde heftiger, das Galvanometer schlug aus, kehrte zurück, allein es pendelte nicht um die Ruhelage, sondern schwankte zwischen derselben und der Ausschlagstelle der Scala unruhig hin und her, und im Telephon konnte man, solange der Unterbrecher geschlossen blieb, ein unruhiges Prasseln und Poltern vernehmen, welches mit dem Oeffnen des Unterbrechers aufhörte, ohne dass man dabei einen Oeffnungsknall im Telephon wahrnehmen konnte. Wird nun die E. M. K. noch weiter gesteigert, bis 12, 20 und 40 Volt, so tritt plötzlich beim Schliessen des Unterbrechers ein sehr heftiger Schliessungsknall ein, das Galvanometer schlägt dauernd aus, bleibt wohl unruhig, aber kehrt nicht zur Gleichgewichtslage zurück, und man vernimmt beim Oeffnen des Kreises einen deutlichen, kräftigen Oeffnungsknall.

Dieses Verhalten zeigten nun alle von mir untersuchten Dielectrica, und in fast allen Fällen erzielte ich auf die beschriebene Weise eine Stromleitung, die bei der erstmaligen Anwendung geringerer Spannungen nicht wahrzunehmen war.

11. Die Höhe der Spannung, bei der ein Stromdurchgang sich einzustellen pflegte, variierte sehr bei verschiedenen Exemplaren. Bei manchen geschah es schon bei 2 Volt, bei anderen aber erst bei 10, 20 und 40 Volt. Schliesslich hatte ich Fälle zu verzeichnen, in welchen auch bei maximaler Spannung der Batterie (50 Volt) kein Stromdurchgang zu erreichen war. Nachdem aber der Strom einmal bei einer noch so hohen Spannung unter den oben beschriebenen Erscheinungen durch das Blättchen durchging, ging er sofort auch bei der geringsten Spannung

durch. Diese Thatsache wiederholte sich ohne Ausnahme: Durch die hohe Spannung war die Leitfähigkeit des Dielectricums gleichsam hergestellt, und nun leitete dasselbe auch bei der geringsten Spannung. Diese Thatsache scheint dafür zu sprechen, dass durch die Anwendung hoher Spannungen im Dielectricum stromleitende Ionen entstehen, die dessen nunmehr vorhandene Leitfähigkeit bedingen.

12. Ich beobachtete ferner, dass die auf beschriebene Weise hergestellte Leitfähigkeit manchmal, bei Anwendung von Spannungen, die höher waren als diejenige, bei welcher die Leitfähigkeit zum Vorschein kam, plötzlich verschwand, indem das Galvanometer ungemein heftig ausschlug und das Telephon einen sehr lauten Schlag vernehmen liess. Beim Oeffnen des Unterbrechers hörte man nun keinen Oeffnungsknall mehr. Dieselbe Erscheinung beobachtete ich auch in Fällen, bei denen ich nicht langsam genug mit der Spannung in die Höhe ging und dabei offenbar diejenige Spannung, bei welcher ein Stromdurchgang eintreten würde, übersprungen habe. So habe ich an einem Exemplar bei 8 und 10 Volt einen unruhigen Ausschlag des Galvanometers und ein gleichzeitiges Prasseln im Telephon beobachtet, welche beide mit Zunahme der Spannung wuchsen, als ich aber von 20 Volt gleich auf 40 Volt überging, erfolgte im Telephon ein förmlicher Schuss, der Galvanometerspiegel schlug heftig aus, doch kehrte er sofort zurück und pendelte um die Gleichgewichtslage. Das Telephon gab nun keinen Oeffnungsknall — die Leitfähigkeit war verschwunden. Diese Erscheinung hat woh Aehnlichkeit mit der von F. Kohlrausch und A. Heydweiler[1]

1. l. c.

beobachteten plötzlichen Zunahme des Widerstandes von Electrolyten, welche Zunahme auf Bildung einer sehr schlecht geleiteten Schicht zurückgeführt war. In unserem Falle würde die Bildung einer derartigen Schicht von der plötzlichen Spannungserhöhung hervorgerufen sein können. Zu bemerken ist, dass auch Kohlrausch und Heydweiler zugleich mit dem Anwachsen des Widerstandes ein Unruhigwerden des Galvanometers beobachteten.

13. Diejenige Grenzspannung aber, bei der ein Verschwinden der Leitfähigkeit erfolgt, liess sich ebenso wenig feststellen wie diejenige, bei welcher die Leitfähigkeit eintritt. Beide variieren zu sehr für verschiedene Exemplare scheinbar derselben Sorte. Dies mag — wenigstens zum Teil — darin seinen Grund haben, dass die Guttaperchablättchen z.B., aus demselben Bogen geschnitten, nie genau gleich dick sind — und mit der Dicke der Schicht nimmt der Widerstand derselben unverhältnismässig rasch zu. So gelang es mir nicht, einen Stromdurchgang durch ein ca. 0.08 mm dickes Guttaperchablättchen zu erzielen, auch als ich eine grössere Batterie von über 200 Volt angewendet habe; dagegen ging in der Regel ein Strom durch ca. 0.05 mm dicke Blättchen, manchmal sogar schon bei 4 Volt durch.

14. Es ist ferner zu bemerken, dass in einigen Fällen, nachdem durch Erhöhung der E. M. K. die Leitfähigkeit des Blättchens hergestellt wurde, dieselbe durch Verminderung des äusseren Widerstandes unter oben beschriebenen Erscheinungen zum Verschwinden gebracht wurde. So ging durch ein Blättchen bei 40 Volt ein Strom durch, dabei

betrug der äussere Widerstand ca. 500 Ω. Als derselbe aber auf 100 Ω herabgesetzt wurde, erfolgte bei oben beschriebenen Erscheinungen das Verschwinden der Leitfähigkeit. In einem anderen Exemplar ging der Strom bei 50 Volt und 2000 Ω durch, verschwand aber bei 50 Volt und 200 Ω.

15. Im Zusammenhang mit diesen Erscheinungen steht noch die folgende. Wie ich bereits erwähnt habe, liess sich bei einigen Exemplaren auch mit 50 Volt kein Stromdurchgang erzielen. Als ich aber für einen Augenblick die das Dielectricum enthaltenden Platten leitend miteinander verband, stellte sich unter den üblichen Erscheinungen eine Leitfähigkeit ein. So hatte ich bei einem 0.05 mm dicken Guttaperchablättchen, nachdem bei 50 Volt kein Stromdurchgang erfolgte, die Platten bei 20 Volt verbunden, jedoch ohne Erfolg. Als ich aber die Spannung auf 50 Volt erhöhte, die Platten leitend verband und sofort die Verbindung löste, ging nunmehr ein Strom durch: das Galvanometer zeigte einen dauernden Ausschlag, und es wurde ein deutlicher Oeffnungsknall wahrgenommen.

In diesem Falle hat man es scheinbar mit einer Lagerung der Moleküle zu thun, welche einen Stromdurchgang nicht herbeiführen kann und von der Potentialdifferenz an den Grenzflächen des Dielectricums aufrecht erhalten wird. Wird nun die Potentialdifferenz durch leitende Verbindung der Platten aufgehoben, so tritt notwendigerweise eine Störung des Gleichgewichtszustandes ein, eine Umlagerung der Moleküle, die für einen Stromdurchgang günstiger ausfallen kann.

Das sind nun die Haupterscheinungen, die ich bei meinen Untersuchungen als charakteristisch für die Stromleitung des Guttaperchas sowie des Paraffins und Schwefels gefunden habe.

16. In diesen Untersuchungen verfolgte ich systematisch die Thatsache, dass die Erscheinungen im Telephon gleichen Schritts mit denjenigen des Galvanometers gingen. So war beim Schliessen des Kreises die Unruhe des Galvanometers am grössten und auch das Poltern und Prasseln im Telephon am intensivsten. Nach einiger Zeit vermindert sich die Unruhe des Galvanometers, und auch allmählich verschwindet das Prasseln im Telephon. Hie und da hört man noch vereinzelte Schläge und, wenn dieselben eine Weile anhalten, so werden regelmässig die Schwankungen des Galvanometers heftiger.

Nun hört aber das Prasseln und Poltern im Telephon mit der Zeit auf, dagegen bleiben die Schwankungen des Galvanometers bis zum Oeffnen des Kreises bestehen. Es scheint hier die entsprechende Erscheinung im Telephon zu fehlen. Allein bald überzeugte ich mich vom Gegenteil.

17. Als ich nämlich bei vollkommener Ruhe der Umgebung auf das allmähliche Erlöschen des Prasselns im Telephon horchte, bemerkte ich, dass dasselbe oft in einen ziemlich ruhigen, summenden Ton überging, welcher nicht mehr verschwand, so lange der Strom geschlossen war. Um dieses Summen deutlich zu unterscheiden, muss man einige Male den Kreis öffnen und schliessen und dabei im Telephon bei geschlossenem und offenem Kreise horchen; dann nimmt man leicht den Unterschied in beiden Fällen,

wahr. Mit Aenderung der Stromstärke ändert sich ebenfalls die Intensität dieses summenden Tones, und zwar nimmt die letztere mit der Stromstärke zu. Bei sehr grossen Stromstärken geht das Summen in ein prasselndes Geräusch über, das demjenigen bei Stromschluss ganz ähnlich ist, wobei das Galvanometer in heftige Unruhe gerät, bei sehr geringen Stromstärken wird der summende Ton sehr schwach und schwer vernehmbar. Doch konnte ich in allen Fällen durch passende Stromstärke ein ganz ruhiges Summen herbeiführen. Ferner beobachtete ich, dass bei gleicher Stärke des Stromes die Höhe des summenden Tones mit der angewandten Volt-Zahl zunimmt. So hörte ich bei 4 Volt einen ziemlich tiefen Ton; als ich aber den Widerstand und die E. M. K. des Kreises proportional vergrösserte, ging der ruhige tiefe Ton in einen viel höheren singenden Ton über. Dabei war die E. M. K. 200 Volt.

18. Durch diese Erscheinung wäre also auch für die Schwankungen des Galvanometers ein Analogon im Telephon gefunden. Der Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des Galvanometers und denjenigen des Telephons lässt sich noch weiter verfolgen: Durch öftere und längere Beanspruchung eines Exemplars und Anwendung hoher Spannungen steigt im allgemeinen seine Leitfähigkeit. Bei derselben Stromstärke hat ein oft beanspruchtes Exemplar einen geringeren Widerstand als vor der Beanspruchung. Dabei werden die Schwankungen des Galvanometers viel geringer. Nachdem ich durch ein Guttaperchablättchen einen Strom von ca. 0.02 Ampère 16 Stunden lang gehen liess, waren im Galvanometer fast keine Schwankungen

mehr wahrzunehmen, es stellte sich ein ziemlich konstanter Widerstand ein, aber zugleich war auch der summende Ton des Telephons nicht mehr sicher wahrzunehmen. Diesen vernahm ich am deutlichsten bei noch wenig beanspruchten oder mehrere Tage nicht gebrauchten Exemplaren, d. h. bei solchen, für welche die Galvanometer-Schwankungen am deutlichsten sind.

19. Der Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des Galvanometers und denjenigen des Telephons scheint mir somit ein vollständiger zu sein, und ich glaube für diese zusammenhängenden Erscheinungen eine mögliche Erklärung durch die Annahme geben zu können, dass der das Dielectricum parierende Strom kein kontinuierlicher ist, sondern aus einer Reihe von Stromstössen besteht, welche unmittelbar nach dem Schliessen des Kreises sehr unregelmässig sind, daher das prasselnde Geräusch im Telephon, mit der Zeit aber in einem mehr oder weniger geregelten Zustande nacheinander folgen und sich als summender Ton im Telephon kundgeben. —

20. Weitere Untersuchungen, die ich mit Guttapercha, Paraffin und Schwefel ausgeführt habe, bieten nichts prinzipiell Neues und bestätigen nur grösstenteils das bereits Beobachtete.

Was das Guttapercha betrifft, so erwähne ich noch, dass ich Packete von zwei bis 6 Blättchen, jedes zwischen dünnen Metallplatten aus Zn. oder Staniol, der gleichen Untersuchung unterwarf und fand, dass auch in diesem Falle ein Zusammendrücken des Packetes den Widerstand desselben bedeutend vermindert. Derselbe ergiebt sich, in der Weatstone'schen Brücke gemessen, annähernd gleich

der Summe der Widerstände der einzelnen Blättchen des Packetes.

21. Bevor ich zur Beschreibung der Anordnung übergehe, die bei den Untersuchungen des Paraffins und des Schwefels getroffen worden sind, möchte ich noch erwähnen, dass die in 9. beschriebene Erscheinung, die darin besteht, dass bei einem den Strom noch nicht leitenden Blättchen im Telephon nur ein Schliessungsknall und kein Oeffnungsknall wahrzunehmen ist, durch die kondensatorische Wirkung der Messingplatten sich erklärt, welche das Blättchen enthalten. Denn die Enden **a** und **b** (Fig. 3) des geöffneten Unterbrechers U müssen verschiedene Potentialhöhen haben, welche sich beim Schliessen des Unterbrechers ausgleichen. Dadurch entsteht eine Verschiebung der Electricität im Kreise, welche den momentanen Ausschlag des Galvanometers und den leisen Knall im Telephon verursacht. Dagegen findet beim Oeffnen des Unterbrechers keine Electricitätsverschiebung statt, und folglich kann dabei weder im Galvanometer noch im Telephon irgend welche Bewegung stattfinden. —

22. Zur Untersuchung des Verhaltens des Schwefels und des Paraffins eignete sich die benutzte Vorrichtung nur sehr wenig. Erstens waren die Messingplatten unnötig gross, zweitens sicherten sie keine gleichmässige Verteilung des Druckes über die zu untersuchende Schicht, — da bei geringer Dicke der Messingplatten leicht Nebenspannungen in denselben auftreten könnten —, und drittens liessen sie kaum eine genaue Messung der Dicke des untersuchten Dielectricums zu.

Ich liess daher zwei Stahlcylinder konstruieren, deren Durchmesser 55 mm, deren Höhe 60 mm betrugen. An jedem Cylinder wurde eine Basis möglichst eben geschliffen und die andere zur Aufnahme eines Kautschukklotzes passend bearbeitet. Aus Fig. 4 ist zu ersehen, dass diese Kautschukteile zugleich zur Aufnahme eines grossen Manometers und des Gegendruckes eines Kugellagers dienten. Der Druck wurde mit Hilfe einer eisernen Spindel durch Vermittlung des Manometers auf die Cylinder übertragen, wobei die Konstruktion der Berührungsflächen des Kautschuks und des Stahles einen centrischen Kraftangriff, sowie die Höhe der Cylinder eine gleichmässige Verteilung des Druckes auf die zu untersuchende Schicht sicherten. Das Manometer konnte bis auf 300 kg beansprucht werden, übte somit einen Druck von ca. 13 kg/cm^2 aus.

23. Bevor ich zur Untersuchung des Paraffins und Schwefels ging, wollte ich noch den Einfluss der allenfalls im käuflichen Guttaperchapapier auch nach der in 7. erwähnten Behandlung vorhandenen Verunreinigungen untersuchen. Zu diesem Zwecke löste ich reines Guttapercha (Guttapercha depurata von Bender & Hobein, München) in Chloroform, bis sich ein Brei gebildet hatte, der die Konsistenz von Kalkmilch hatte, und goss denselben auf ein Messingplättchen vom Durchmesser der Stahlcylinder. Dabei wurde das Messingplättchen horizontal gelegt, so dass der Guttaperchabrei sich gleichmässig ausbreiten konnte. Nach Verdunsten des Chloroforms verblieb ein dünnes, weisses Häutchen von reinem Guttapercha aufgespannt auf dem Messingplättchen. Auf das Häutchen wurde nun ein zweites Messingplättchen gelegt und das Ganze zwischen die Stahlcylinder gebracht und zusammengepresst. Beide

Messingplättchen wurden an der inneren Fläche möglichst eben geschliffen.

24. Die auf die beschriebene Weise hergestellten Guttaperchahäutchen verhielten sich im grossen und ganzen genau so wie das käufliche Guttaperchapapier. Nur waren die Schwankungen und die Abnahme des Widerstandes bei erstmaliger Beanspruchung und vor einem längeren Zusammendrücken noch grösser als früher. So betrug anfangs der Widerstand eines Häutchens — bei einer E. M. K. von 50 Volt — ca. 100 000 Ω, sank aber nach einigen Minuten, während welcher das Telephon heftig polterte und das Galvanometer sehr unruhig war, auf 279 Ω, indem das Telephon nach einem lauten Knall sich beruhigt hatte und das Galvanometer ebenfalls ruhig und langsam zu schwanken begann.

Ein anderes Häutchen zeigte in unbelastetem Zustande einen Widerstand von 417 Ω, wobei das Galvanometer sehr unruhig war. Nach drei Umdrehungen der Spindel sinkt der Widerstand blos auf 400 Ω, und das Galvanometer beruhigt sich fast gar nicht. Bei fortgesetztem Zusammenpressen sinkt der Widerstand aber immer rascher, er beträgt nur 46 Ω, nach weiterem Zusammenpressen blos 30 Ω und schliesslich bei maximaler Belastung 15.5 Ω, wobei das Galvanometer sich allmählich beruhigt und nur unbedeutend schwankt. Das Verhalten der Häutchen unterschied sich also von demjenigen des Guttaperchapapieres fast gar nicht.

25. Bei der Herstellung dünner Schichten von Paraffin und besonders von Schwefel stellten sich einige Schwierig-

keiten ein. Nach vielem mühsamen Probieren wurde schliesslich folgendes Verfahren festgehalten.

Eine runde Messingplatte von ca. 80 mm im Durchmesser und 8 mm Stärke mit einer konzentrischen runden Oeffnung von ca. 30 mm im Durchmesser wurde mit drei Stellschrauben a, b, c (Fig. 5) — gleich entfernt von einander auf einem Kreise von 45 mm im Durchmesser — versehen. Diese Platte wurde auf den Arm A eines eisernen Ständers gelegt, so dass die Spitzen der Stellschrauben a, b, c nach oben gerichtet waren. Auf diese Spitzen wurde nun ein Messingplättchen vom Durchmesser der Stahlcylinder gelegt und mit Hilfe der Stellschrauben annähernd in horinzontale Lage gebracht. Auf das Messingplättchen kommt nun die zu schmelzende Substanz (Paraffin oder Schwefel), die mittelst eines Bunzen-Brenners von unten erwärmt wird. Indem bei genügender Erwärmung die Substanz zum Schmelzen kommt, wird durch die Stellschrauben einem seitlichen Abfliessen derselben entgegengearbeitet. Auf diese Weise breitet sich die Substanz in gleich dicker Schicht über das Blättchen aus. Die Dicke der herzustellenden Schicht wird durch drei Platinstreifen gesichert, die in drei Punkten des Umfanges des Plättchens zu liegen kommen und auf welche nun ein dem ersten ganz gleiches Plättchen gelegt wird.

Nachdem nun diese Substanz erstarrt ist und die Plättchen sich abgekühlt haben, werden die Platinstreifen, die sur Hälfte durch die Plättchen verdeckt sind und zur Hälfte hinausschauen, mit einer Zange herausgezogen und die seitliche Wandung des Plättchenpaares sofort mit der betreffenden Substanz vergossen, um das Eindringen von

Feuchtigkeit in das Innere zu verhindern. Während des Schmelzens der Substanz kann man sich ganz gut bei heller Beleuchtung von deren Reinheit überzeugen und etwaige sich vorfindende Stäubchen entfernen.

Der Schwefel ist nicht über 114° erhitzt worden, bei welcher Temperatur er ganz dünnflüssig und von heller gelber Farbe war. In diesem Zustande wird das obere Messingplättchen aufgebracht. Kaum hat sich der Schwefel soweit abgekühlt, dass die obere Platte nicht mehr auf der unteren zu verschieben ist, müssen die Platinstreifen sofort herausgezogen werden, denn, sobald der Schwefel ganz hart wird, ist das Herausziehen der nur 0,02—0,03 mm starken Streifen nicht mehr möglich, sie reissen regelmässig ab. Nachdem nun die Streifen einmal herausgezogen sind, wird die Wandung des Plättchenpaares mit geschmolzenem Schwefel vergossen.

Die angewandten Schwefel und Paraffin waren „chemisch rein" (von Bender & Hobein, München). Der Schmelzpunkt des Paraffin lag bei 45° C.

26. Was nun das Verhalten von Paraffin und Schwefel bei der Herstellung der Leitfähigkeit durch hohe Spannungen, resp. durch leitende Verbindung der Stahlcylinder (vgl. 15) betrifft, so habe ich die Wiederholung der oben beschriebenen Erscheinungen zu konstatieren gehabt, nur mussten höhere Spannungen angewendet werden, als früher, was sich leicht erklären lässt, da Paraffin und besonders Schwefel bei gleicher Dicke einen viel grösseren Widerstand als Guttapercha besitzen. Mit einer Batterie von 200 Volt konnte ich höchstens bei 0,04 mm dicken Paraffinschichten noch einen Stromdurchgang herbei-

führen. Beim Schwefel betrug die Grenzdicke nur 0,03 mm.

27. Anders aber verhielten sich Paraffin und Schwefel beim Ausüben eines Druckes auf dieselben. Während der Widerstand des Guttaperchas mit wachsendem Drucke stets abgenommen hat, war es beim Schwefel nicht der Fall. Er verhielt sich gegen Druckänderung ziemlich indifferent und konnte weder eine ausgesprochene Vermehrung noch Verminderung des Widerstandes bei Druckänderungen in gleichem Sinne konstatiert werden. Was aber das Paraffin betrifft, so wurde sein Verhalten gegen Zusammendrücken entgegengesetzt demjenigen des Guttaperchas gefunden. Der Widerstand der Paraffinschichten nahm mit wachsendem Drucke zu.

So beobachtete ich an einer 0,04 mm dicken Paraffinschicht, die zum ersten Male beansprucht war, folgenden Verlauf der Widerstandsänderung: Unbelastet: 4100 Ω; vollbelastet mit 300 kg: 6600 Ω; beim Entlasten sinkt der Widerstand und beträgt bei unbelasteter Schicht: 3300 Ω; wieder vollbelastet: 6600 Ω; entlastet: 2690 Ω. Die Widerstände wurden in der Weatstone'schen Brücke gemessen. Ein ähnliches Verhalten zeigten alle anderen untersuchten Paraffinschichten.

Was aber die Schwankungen betrifft, so nahmen sie sowohl beim Paraffin wie beim Schwefel mit wachsendem Drucke ab.

28. Bevor ich diese allgemeinen Untersuchungen abschliesse, möchte ich noch erwähnen, dass ich mehrmals im Laufe derselben das Vorhandensein einer — zwar sehr schwachen — Polarisation des Guttaperchas beobachtet

habe. Der beobachtete Polarisationsstrom war sehr gering, und die Ausschläge des Galvanometers betrugen im günstigsten Falle einige cm der Scala. Dagegen erhielt ich viel kräftigere Polarisationsströme, als ich anstatt des Guttaperchapapiers den durch Behandlung von reinem Guttapercha mit Chloroform erhaltenen Brei verwendet habe. Der Polarisationsstrom hielt in diesem Falle 5—15 Minuten an, indem der Ausschlag des Galvanometers nur ganz langsam abnahm. Ein Hauptstrom, herrührend von 50 Volt, der 8 Minuten lang dauerte, gab einen Polarisationsstrom, dessen Ausschlag unmittelbar nach dem Umlegen der Wippe 155 mm der Scala betrug. Der Ausschlag nahm anfangs rascher, dann immer langsamer ab und betrug nach 5 Minuten noch 46 mm.

Beim Schütteln der Lösung nahm der Ausschlag rasch ab. Auch die Guttaperchahäutchen zeigten einen Polarisationsstrom, der nicht viel grösser war als derjenige des Guttaperchapapiers.

Die Empfindlichkeit des verwendeten Deprez-Galvanometers betrug 10^{-8}.

Dieses Resultat, soweit sich dasselbe auf Guttaperchapapier bezieht, stimmt mit dem von Leick[1] gefundenen insofern nicht überein, als Leick an dem von ihm untersuchten Guttaperchapapier keinen Polarisationsstrom beobachtet hat.

29. Es wäre noch zu erwähnen, dass das Verhalten des Galvanometers bei der Untersuchung des oben erwähnten Guttaperchabreies ein viel gleichförmigeres war

1. l. c.

als bei festem Guttaperchapapier. Obwohl der Ausschlag des Galvanometers nicht konstant war, sondern entweder stetig zu- oder abnahm, waren doch jene raschen Aenderungen, die für den festen Zustand so charakteristisch sind, nicht zu beobachten. Schliesslich sei noch bemerkt, dass die Ab- bezw. Zunahme der Ausschläge, die ruhig und im gleichen Sinne vor sich gingen, in der Bewegung der im Chloroform suspendierten Guttaperchateilchen, sowie in dem Verdunsten des Chloroforms ihren Grund haben können.

II. Untersuchung des Einflusses der Stromdauer auf die Leitung dünner Schichten sehr schlecht leitender Körper.

30. Die vorangehenden Untersuchungen haben die von Schulze-Berge und von Leick beobachteten Erscheinungen bestätigt und ausserdem noch gezeigt, dass für alle am Galvanometer wahrzunehmenden eigentümlichen Vorgänge entsprechende Vorgänge im Telephon beobachtet werden können. Dieser Zusammenhang führte dann zur Annahme, dass der das Dielectricum passierende Strom aus einer Reihe von Stromstössen besteht, welche einige Zeit nach Stromschluss in mehr oder weniger stationärem Zustande nacheinander folgen und den summenden Ton des Telephons herbeiführen, unmittelbar aber nach Stromschluss unregelmässig, mit veränderlicher Intensität vor sich gehen und sich als prasselndes und polterndes Geräusch im Telephon kundgeben.

31. Diesen letzteren rasch veränderlichen Vorgang im Dielectricum könnte man der Untersuchung zugänglicher machen, wenn man denselben nur sehr kurze Zeitdauern bestehen liesse, die letzteren aber verschieden lang wählte und die dabei beobachteten Erscheinungen mit einander vergliche. Dies kann man aber dadurch erreichen, dass man das Dielectricum in einen Schliessungskreis bringt,

der ein sehr empfindliches Galvanometer enthält und nur sehr kurze Zeitdauer geschlossen bleibt. Binnen dieser kurzen Zeiten sind die Aenderungen im Dielectricum sehr gering und man kann somit aus den Galvanometer-Ausschlägen für die ganze Reihe der kurzen Stromdauern ein Bild vom zeitlichen Verlauf des unmittelbar nach Stromschluss im Dielectricum vor sich gehenden Vorganges erhalten.

32. Diese Untersuchungen über den Einfluss kurzer Stromdauern, die ich auf Anregung des Herrn Professor Graetz unternommen habe, sollen noch zur experimentellen Prüfung folgender theoretischen Betrachtungen dienen: In seiner electromagnetischen Theorie der Farbenzerstreuung geht Helmholtz[1] bekanntlich von der Vorstellung den Raum erfüllender Ionenpaare aus, die miteinander zu einem Molekul verbunden und vom Aether umgeben sind. An jedem Ione eines Ionenpaares haften gleiche und entgegengesetzte Electricitätsmengen, deren absolute Grössen der Zahl der Valenzen des Ions proportional sind. Da die Centralpunkte der electrischen Ladungen der Ionen eines Ionenpaares in bestimmter aber variabler Entfernung voneinander liegen, so kommt jedem solchen Ionenpaare ein electrisches Moment zu, dabei können die Axen dieser Momente beliebige Richtungen im Raume haben. Kommen nun die Ionenpaare in ein electrisches Feld hinein, so werden sie in der Richtung der Kraftlinien desselben von zwei gleichen und entgegengesetzt gerichteten Kräften ergriffen, welche, als Kräftepaar wirkend, das Bestreben haben, die Axen der Ionenpaare zu drehen, resp. dieselben

1. Wied. Ann. 48., p. 390. 1893.

zu verlängern oder zu verkürzen, ohne eine Verschiebung des Schwerpunktes des Molekuls herbeizuführen. Für eine gegebene Substanz stellt sich somit ein Gleichgewicht ein zwischen dem von der Feldstärke herrührenden Kräftepaare einerseits und dem vom Beharrungsvermögen der trägen Masse der Ionen und anderer die Substanz charakterisierender Grössen herrührenden Kräftepaare andererseits.

33. Ist nun die Stärke des electrischen Feldes hinreichend gross, oder die Widerstandsfähigkeit der Ionenpaare gegen Drehung und Auseinanderreissen hinreichend gering, so können die Axen der Ionenpaare in die Richtung der Kraftlinien des Feldes gebracht werden und auch schliesslich das Ionenpaar in gesonderte Ionen gerissen werden, wodurch zwei gleiche und entgegengesetzte Electricitätsmengen frei gemacht werden, die eventuell einen Stromdurchgang durch das Dielectricum zu Stande bringen.

Sollte nun im Dielectricum ein ähnlicher Vorgang nach dem Schliessen des Kreises stattfinden, so müssten zuerst die am günstigsten gelegene Ionenpaare getrennt werden und erst nach einer endlichen Zeitdauer nur solche Ionenpaare im Dielectricum bleiben, die von der gegebenen Feldstärke nicht mehr gesondert werden können. Es ist daher zu erwarten, dass während einer kurzen Zeitdauer unmittelbar nach Stromschluss, während welcher neue, weniger günstig gelegene Ionenpaare noch getrennt werden, auch die Leitfähigkeit des Dielectricums wachsen müsste.

Der Vergleich der Galvanometer-Ausschläge für eine Reihe kurz dauernder Ströme, von welcher in 31. ge

sprochen wurde, könnte wohl für diese Betrachtungen eine experimentelle Stütze oder Widerlegung liefern.

34. Bevor ich nun an die Beschreibung der Beobachtungen bei kurzen Stromdauern übergehe, möchte ich noch darauf hinweisen, dass die obigen Betrachtungen auch im Stande sind, manche von den im ersten Teil beschriebenen Erscheinungen zu deuten: So kann die mit wachsender Stromstärke beobachtete Verminderung des Widerstandes dadurch erklärt werden, dass bei vergrösserter Feldstärke solche Ionenpaare getrennt werden, die eine geringere Feldstärke nicht zu trennen vermochte. Die Gesamtzahl der getrennten Ionen ist somit vergrössert worden und mit ihr auch das Leitvermögen grösser geworden.

Ist einmal die vergrösserte Ionenzahl da, so muss folglich das Leitvermögen auch bei geringerer Feldstärke nun grösser sein als zuvor, was mit der in 11 mitgeteilten Beobachtung übereinstimmt.

Wird nun der Kreis für längere Zeit geöffnet, so verschwindet die Kraft, durch welche der Zustand der getrennten Ionen aufrecht erhalten wurde, und dieselben verbinden sich allmählich zu Paaren, wodurch der frühere Zustand des geringen Leitvermögens allmählich hergestellt wird; was mit den beobachteten Erscheinungen auch in Uebereinstimmung steht.

35. Dass übrigens im Innern eines Dielectricums thatsächlich eine Polarisation der Moleküle stattfindet, nämlich bei länger andauerndem electrischen Felde, welches plötzlich entstanden ist, und dass diese Polarisation nur allmählich mit der Zeit verschwindet, bestätigt ein Versuch von

Pellat,[1] der im folgenden besteht: Zwei identische Ebonitplatten, die ganz genau aufeinander passten, wurden zwischen die Platten eines Kondensators gebracht, dessen Belegungen auf einem bestimmten Potentialunterschied aufrecht erhalten wurden. Nach 30 bis 120 Sekunden wurden die Kondensatorplatten leitend verbunden und eine der Ebonitplatten mit Hilfe des Quadranten-Electrometers untersucht. Es ergab sich, dass die beiden Grenzflächen der Ebonitplatten gleiche und entgegengesetzte Electricitätsmengen enthielten. Die Ausschläge der Nadel waren bei wiederholtem Umlegen der Ebonitplatten in einem zweiten Kondensator, dessen Platten mit der Nadel des Electrometers und der Gasleitung verbunden waren, entgegengesetzt und nahmen mit der Zeit ab.

36. Ich gehe nun an die Beschreibung der Versuche mit kurzen Stromdauern. Bei sämtlichen Beobachtungen bediente ich mich des Helmholz'schen Pendelunterbrechers.[2] Derselbe besteht im Wesentlichen aus einem massiv gebauten Pendel mit horizontaler Axe und aus zwei Hebel-Kontakten, deren um verticale Axen drehbare Hebel durch den untersten Teil des Pendels beim Fallen desselben rasch gedreht werden und dadurch das Oeffnen der Kontakte herbeiführen. Beide Hebel-Kontakte sind in der Richtung der Schwingungsebene des Pendels mit Hilfe einer Mikvometerschraube, welche eine in Hundert Teile geteilte Trommel trägt, horizontal verschiebbar. Durch Verschiebung der Hebel-Kontakte gegen einander kann man nun erreichen, dass das Pendel beim Fallen einen

1. Comptes rendus, 128., p. 1312, 1829.

2. Ausführliche Beschreibung in der Abhandl. von Schiller, Pogg. Ann. 152., p. 535, 1874.

Kontakt früher öffnet als den andern, wobei die zwischen dem ersten und zweiten Oeffnen der Kontakte verstrichene kurze Zeitdauer aus den Ablesungen an den Trommeln und an einer Scala für volle Trommelumdrehungen bestimmt wird.

Für die vorliegende Untersuchung handelt es sich darum, einen Strom-Kreis zu erhalten, der mit dem Oeffnen des einen, zuerst angeschlagenen Kontaktes geschlossen, mit dem Oeffnen des anderen Kontaktes unterbrochen wird.

37. Um dieser Bedingung zu genügen, wurde folgende Schaltung angewendet: Die Hebelkontakte C_1 und C_2 (Fig. 6) des Pendelunterbrechers wurden in den einfachen (unverzweigten) Schliessungskreis AC_1BC_2A eingeschaltet, dessen E. M. K. aus zwei hintereinander geschalteten Batterien e_1 und e_2 bestand. Nun wurden auf beiden Verbindungsstrecken der entgegengesetzten Pole der Batterien Punkte A und B gleicher Potentialhöhen gesucht und diese Punkte als Ausgangspunkte einer Abzweigung gewählt, welche ein empfindliches Deprez-Galvanometer und das zu untersuchende Dielectricum enthielt. Solange der Kreis AC_1BC_2A geschlossen ist, bleibt die Abzweigung mit dem Galvanometer und dem Dielectricum stromlos, beim Oeffnen von C_1 fliesst durch das Galvanometer und Dielectricum ein Strom von der Batterie e_2, beim darauffolgenden Oeffnen von C_2 wird dieser Strom unterbrochen, und die Abzweigung mit dem Galvanometer und dem Dielectricum bleibt wiederum stromlos.

38. Wir wollen die Bedingung aufstellen, welcher die Lage der Punkte A und B zu genügen hat. Bezeich-

nen wir mit e_1, w_1 und i_1, e_2, w_2 und i_2 und mit w und i die E. M. K., die Widerstände und die Stromstärken der Zweige AC_1B, AC_2B und AGDB und setzen wir nacheinander $e_2 = o$ und $e_1 = o$, so sind die diesen beiden Fällen entsprechenden Stromstärken i′ und i″ des Zweiges AGDB:

$$i' = e_1 \frac{w_2}{ww_1 + ww_2 + w_1w_2} \quad \text{und} \quad i'' = e_2 \frac{w_1}{ww_1 + ww_2 + w_1w_2}$$

Daher ist, da $i' - i'' = i$ ist,

$$i = \frac{e_1w_2 - e_2w_1}{ww_1 + ww_2 + w_1w_2}$$

Die Bedingung dafür, dass die Abzweigung AGDB stromlos bleibe, lautet somit:

$$e_1w_2 - w_1e_2 = o, \text{ oder } \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

In beiden Zweigen AC_1B und AC_2B muss also das Verhältnis der E. M. K. gleich sein demjenigen der Widerstände dieser Zweige; dann fliesst in der Abzweigung AGDB kein Strom. Wird aber durch das fallende Pendel einer der Kontakte geöffnet, z. B. C_1, so fliesst nun ein Strom durch die Abzweigung AGDB und den Zweig AC_2B, jedoch nur bis der zweite Kontakt C_2 vom Pendel geöffnet ist. Somit bleibt die Abzweigung stromlos sowohl wenn beide Kontakte geschlossen, wie auch wenn beide offen sind.

39. Da aber die E. M. K. der Batterien nicht gleichmässig abnehmen, so dass das Verhältnis $\frac{e_1}{e_2}$ mit der Zeit veränderlich ist, so muss, damit der Zweig AGDB dauernd stromlos bleibt, für eine fortwährende Regulierung des Verhältnisses der Widerstände $\frac{w_1}{w_2}$ in entsprechendem Sinne

Sorge getragen werden. Ein Monochord mit verschiebbarem Kontakte ist in diesem Falle unbrauchbar wegen des ungleichmässigen Anliegens der Kontakt-Kante auf dem Drahte, auch wenn man die Verschiebungen derselben mittelst einer Mikrometerschraube vollzieht. Viel bessere Dienste leistet ein flüssiger Widerstand. Hängt man einen Glasstab in einen Electrolyten, wie $CuSO_4$- oder $ZuSO_4$-Lösung, in welche zwei Electroden des entsprechenden Metalles gebracht sind, die in den Schliessungskreis aufgenommen sind, und bewegt den Glasstab in vertikaler Richtung, so kann man vollkommen kontinuierlich den Widerstand des Ganzen ändern. Da ich meistens in einem der Kettenzweige ein Danielelement hatte, so bediente ich mich dessen $CuSO_4$-Lösung zu diesem Zwecke. Die angewandte Vorrichtung ist ohne weiteres aus Figur 7 zu ersehen.

40. Obwohl nun der Glasstab ausserhalb des Bereiches der Lösung angebracht wurde, in welchem sich der elektrolytische Vorgang der Hauptsache nach abspielt, scheinen doch die Bewegungen desselben auf die Abnahme des E. M. K. des Elementes — etwa durch Konzentrationsänderungen einen Einfluss zu haben, der manchmal sehr störend war.

Im allgemeinen bewährte sich aber diese Anordnung sehr gut. Zu demselben Zwecke bediente ich mich ferner mit gutem Erfolg eines Quecksilberwiderstandes. In ein mit Quecksilber gefülltes cylindrisches Gefäss wurde ein dünner Konstantandraht hineingebracht, der zum Teil stets

unter Quecksilber blieb. Durch Höheänderung des Quecksilberspiegels mittelst eines Glasstabes, der durch den Deckel des Gefässes ging, konnte man den Widerstand des Ganzen kontiunierlich ändern.

Am geringsten erwiesen sich die Aenderungen des Verhältnisses $\frac{e_1}{e_2}$, wenn dasselbe sehr gross gewählt war, z.B.: eine Akkumulatoren-Batterie von 100 bis 200 Volt einerseits und ein Danielelement, oder auch ein Daniel gegen ein Lechanché andrerseits.

41. Die Zeitkonstante des Pendelunterbrechers wurde nach der von Pouillet[1] herrührenden Methode zur Messung sehr kurzer Zeiten bestimmt. Dieselbe benutzte auch Schiller[2] bei seinen Untersuchungen. Danach berechnet sich die einer bestimmten gegenseitigen Lage der Hebelkontakte entsprechende Zeitdauer nach der Formel:

$$dt = \frac{\alpha}{\delta} \frac{T}{\pi} k^{\frac{1}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \pi/\lambda}$$

Darin bezeichnen:

α — den ballistischen Ausschlag des Galvanometers, beobachtet bei der Stromdauer = dt,

δ — den im gleichen Kreise entstehenden Galvanometer-Ausschlag bei dauerndem Strome,

T — die Schwingungsdauer des Galvanometers,

$\varkappa$ — das Dämpfungsverhältnis dieser Schwingungen,

und λ ist = log. nat. $\varkappa$.

Die einer vollen Trommelumdrehung der Mikrometer-

1. Pouillet, Comptes rendus, 19., p. 1384, 1844.
2. l. c.

schraube eines Hebelkontaktes entsprechende Zeitdauer ergab sich gleich 1.24×10^{-4} sec.

42. Diejenige Lage beider Hebelkontakte, bei welcher dieselben gleichzeitig vom Pendel geöffnet werden, — deren Ermittelung auch für die Bestimmung der Zeitkonstante notwendig war —, wurde in folgender Weise mehrere Male im Laufe der Untersuchungen bestimmt:

In die Zweige AC_1B und AC_2B wurde ein Kommutator in der an Fig. 8 ersichtlichen Weise eingeschaltet. Die Batterie e_1 hatte 200 Volt Spannung und e_2 nur 1.1 Volt. Je nach Stellung des Kommutators wurde der Strom von e_1 durch C_1 oder C_2 gesandt, und dabei der Kontakt C_1 in beiden Fällen ungeändert gelassen, dagegen C_2 in entgegengesetzten Richtungen verschoben. Die Grössen dieser Verschiebungen wurden nun so lang variiert, bis das Galvanometer in beiden Fällen denselben Ausschlag gab. Der Mittelwert aus den auf diese Weise erhaltenen entgegengesetzten Verschiebungen von C_2 gegen C_1 gab nun die Lage von C_1 und C_2 an, bei der beide Kontakte zugleich geöffnet wurden.

43. Bei den Vorversuchen zeigte sich, dass die Selbstinduktion des Kreises auf die Beobachtungen bei den kleinsten Stromdauern störend einwirkte. Eine Proportionalität zwischen den Ausschlägen des Galvanometers und den Stromdauern war für die kleinsten Stromdauern von 0.05 bis 0.5 einer Trommelumdrehung auch für metallische Widerstände nicht vorhanden. Was aber die grösseren Stromdauern betrifft, so ergaben die Beobachtungen mit verschiedenen bekannten metallischen

Widerständen, dass die Ausschläge des Galvanometers auf 1% genau den Stromdauern und Stromstärken proportional sind.

Ferner zeigte es sich, dass die Ausschläge für dieselbe Stromdauer und Stromstärke davon abhängig sind, ob das Galvanometer unter dem Einflusse der Aenderung von $\frac{e_1}{e_2}$ eine grössere oder geringere Tendenz besass, nach einer Richtung auszuschlagen. Manchmal waren die Aenderungen von $\frac{e_1}{e_2}$ so unregelmässig und erfolgten so rasch, dass begonnene Versuchsreihen aufgegeben werden mussten.

Um diese Fehlerquelle zu eliminieren, wurde folgende Versuchsordnung eingeführt und festgehalten.

44. In den Zweig AGDB wurde mittelst eines Umschalters (Fig. 9) ein Widerstandskasten eingeschaltet, und je nach dem dielectrischen Widerstande wurde dieser metallische Widerstand so gewählt, dass die Galvanometer-Ausschläge für grosse Stromdauern (ca. eine Trommelumdrehung) bei metallischen und dielectrischen Widerständen nicht viel von einander differierten. Für jede Stromdauer wurden nun in unmittelbarer Folge die Ausschläge des Dielectricums und des metall. Widerstandes abgelesen und diese Doppelbeobachtung 4—10 mal wiederholt, je nachdem das Verhalten der Stromquellen e_1, e_2, (die Konstanz des Verhältnisses $\frac{e_1}{e_2}$) mehr oder weniger gut miteinander übereinstimmende Zahlen für jeden der Widerstände gab.

Die Mittelwerte dieser Ausschläge für den dielectrischen sowie für den metall. Widerstand konnten nun als durch gleichzeitig erfolgte Beobachtungen erzielt und ihr Verhältnis daher als von dem veränderlichen Zustande des Galvanometers unabhängig betrachtet werden.

45. Ausserdem sind die Verhältnisse solcher Mittelwerte von der störenden Wirkung des Extrastromes unabhängig. Denn, da in beiden Fällen die E. M. K., der Widerstand, die Selbstinduktion und die Stromdauern dieselben bleiben, sind die Extraströme nur mehr von den Stromstärken abhängig. Bezeichnen wir die Ausschläge bei dielectrischem und bei metallischem Widerstande mit A und B, die Stromstärken mit a und b, so ist die Wirkung der Extraströme: αa und αb, wo α dieselbe konstante Zahl ist, und für A und B erhält man die Bezeichnungen:

$A = k\,(1 - \alpha)\,a$ und $B = k\,(1 - \alpha)\,b$, oder $\frac{A}{B} = \frac{a}{b}$,

d. h. das Verhältnis der beobachteten Ausschläge ist = dem Verhältnisse der Stromstärken.

46. Die auf diese Weise erhaltenen Verhältnisse $\frac{A}{B}$ für verschiedene Stromdauern geben also das Verhältnis der Leitfähigkeit des Dielectricums bei diesen Stromdauern zu demjenigen des metallischen Leiters an. Es handelt sich somit nur mehr um die Feststellung ob dieses Verhalten mit der Stromdauer wächst oder nicht.

47. In den nun folgenden Tabellen sind die Resultate der Beobachtungen am Schwefel, Guttapercha und

Paraffin zusammengestellt. Das so oft schon erwähnte unruhige Verhalten der Akkumulatoren-Batterie, welches wohl seinen Grund in der geringen Kapazität der Zellen haben wird, erlaubte es nicht, die Beobachtungsreihen nach Wunsch zu verlängern. Das Regulieren der Widerstände der Kettenzweige nahm so viel Zeit in Anspruch, dass der Zustand des Dielectricums sich manchmal während der Untersuchung änderte, was dadurch konstatiert wurde, dass bei Wiederholung nach einer Beobachtungsreihe der Anfangsbeobachtungen keine gut übereinstimmenden Resultate erhalten wurden. Besonders oft geschah das beim Paraffin. In die Tabellen sind nun jene Beobachtungsreihen aufgenommen worden, für welche diese Aenderung des Zustandes des Dielectricums nicht zu konstatieren war. —

8. Schliesslich sei noch erwähnt, dass je nach Grösse des Widerstandes des untersuchten Dielectricums — die grössere oder kleinere E. M. K. der Kettenzweige zur Wirkung kam, damit die Aenderungen der Galvanometer-Ausschläge, herrührend von eventuellen Widerstandsänderungen des Dielectricums, möglich gross werden.

Damit endlich verschiedene Beobachtungsreihen mit einander ohne Weiteres verglichen werden könnten, wurden die Ausschläge des metallischen Widerstandes auf einen anderen Widerstand reduziert, bei dem der Ausschlag für die grösste der beobachteten Stromdauern mit dem Ausschlage des dielectrischen Widerstandes genau übereinstimmte. Diese reduzierten Ausschläge sind in Kolumne (f) eingetragen. In der Kolumne (g) sind dann die Verhält-

nisse der dielectrischen Ausschläge zu den reduzierten metallischen enthalten. Dies sind die in 45 besprochenen Verhältnisse $\frac{A}{B}$.

Tabelle I.

Schwefelschicht. Dicke 0.03 mm. Stromquelle 52 Bleiakkumulatoren. Metallischer Widerstand des Kreises 10 165 Ω. Stromstärke $i = \frac{104}{10660} = 0.0097$ Ampère.

(a) Reihenfolge der Beobachtungen	(b) Stromdauer in ganzen Trommelumdrehungen	(c) Stromdauer in 10^{-6} einer sec.	(d) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: Schwefelschicht mm	(e) 2500 Ω mm	(f) Berechnete Ausschläge eines Widerst. v. $\frac{12665 \times 359}{10660}$ Ω mm	(g) Das Verhältnis von (d) zu (f) $\frac{A}{B}$	Bemerkungen
12	0.03	3.7	4.48	4.56	5.41	(0.828)	nicht ganz sicher!
1	0.05	6.2	3.67	4.33	5.14	0.714	
13	0.05	6.2	6.50	6.85	8.15	[0.798]	sofort nach Schlussbeobachtet
2	0.075	9.3	8.30	7.75	9.21	0.901	
14	0.075	9.3	14.67	11.67	13.91	[1.061]	id.
3	0.10	12.4	13.67	11.45	13.65	1.001	
15	0.10	12.4	16.85	13.00	15.46	[1.090]	id.
4	0.15	18.6	25.75	21.55	25.67	1.002	
5	0.20	24.8	36.70	29.79	35.45	1.035	
6	0.30	37·2	56.25	47.38	56.30	0.999	
7	0.40	49.6	78.23	65.33	77.88	1.032	
8	0.50	62.0	102.3	84.7	100.7	1.015	
9	0.60	74.4	121.2	102.4	121.0	1.020	
10	0.80	99.2	164.3	140.0	166.5	0.989	
11	1.00	124.0	209.7	175.0	208.5	1.004	
16	2.00	248.0	427.4	359.0	427.4	1.000	

Tabelle II.

Schwefelschicht. Dicke 0.03 mm. Stromquelle 52 Bleiakkumulatoren. Metall. Widerstand des Kreises 20165. Stromstärke $i = \frac{194}{20350} = 0.0051$ Ampère.

(a) Reihenfolge der Beobachtungen	(b) Stromdauer in ganzen Trommelumdrehungen	(c) Stromdauer in 10^{-6} einer sec.	(d) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: Schwefelschicht mm	(e) 2000 Ω mm	(f) Berechnete Ausschläge bei einem Gesamtwiderst. $22165\frac{43.67}{47.60}$ 20350 Ω	(g) Das Verhältnis von (d) zu (f) $\frac{A}{B}$	Bemerkungen
1	0.02	2.5	4.08	5.45	5.93	0,682	
9	0.05	6.2	1.75	2.15	2.34	0.749	
2	0.09	11.2	6.75	6.87	7.47	0.904	
8	0.10	12.4	7.50	6.75	7.35	[1.020]	nach Schluss beobachtet
3	0.15	18.6	11.50	12.26	13.39	0.861	
4	0.20	24.8	14.72	14.50	15.61	0.943	
5	0.30	37.2	27.33	25.00	27.18	1.005	
6	0.40	49.6	39.33	35.00	38.11	1.030	
7	0.50	62.0	47.60	43.67	47.60	1.000	

49. Aus den Tabellen I und II ist ersichtlich, dass das Verhältnis $\frac{A}{B}$ für Stromdauern von weniger als etwa 1 bis 2×10^{-5} sec. kleiner ist als für die grösseren Stromdauern und dass dieser Unterschied auch dann bestehen bleibt, wenn nach Beobachtung der grössten Stromdauern die Beobachtung der kleineren Stromdauern wiederholt wird, dass also dieser Unterschied nicht auf einer Zustandsänderung des Dielectricums beruht. Dass ferner

dieser Unterschied nicht etwa von der Kleinheit der Ausschläge bei geringen Stromdauern herrühren kann, dafür spricht die Thatsache, dass die kleinsten Ausschläge, bei welchen die Spule des Galvanometers sehr langsam umkehrt, leicht auf $^1/_{10}$ $^m/_m$ geschätzt werden können, wogegen bei grösseren Ausschlägen von etwa 100 $^m/_m$ nur noch ganze Millimeter abgelesen werden konnten.

50. Schliesslich sei noch darauf hingewiesen, dass, wenn man berücksichtigt, dass bei den Beobachtungen der Ausschläge A und B die Selbstinduktion des Kreises nicht genau dieselbe bleibt, da im zweiten Falle anstatt der dünnen dielectrischen Schicht ein metallischer (wenn auch bifilar gewickelter) Draht eingeschaltet wird, der zur Selbstinduktion des Kreises mehr beiträgt als das Dielectricum, man um diese Fehlerquelle zu eliminieren die Ausschläge B für sehr kleine Stromdauern um etwas vergrössern muss, wodurch das Verhältnis $\frac{A}{B}$ für kleine Stromdauern noch geringer wäre.

Allein es ist kaum anzunehmen, dass dieser Umstand noch einen merklichen Einfluss auf die Ablesungen haben kann, und daher ist auch in 45 die Selbstinduktion in beiden Fällen einander gleich angenommen worden.

51. Aus dem Vergleich der Tabellen miteinander ist ferner ersichtlich, dass die Zeitdauer, binnen welcher das Verhältnis $\frac{A}{B}$ noch ansteigt, verschieden ist. In Tabelle I liegt diese Zeitdauer zwischen 0.075 und 0.100 einer Trommelumdrehung, beträgt also ungfähr 1×10^{-5} sec.,

dagegen in Tabelle II zwischen 0.15 und 0.20 einer Trommelumdrehung, beträgt also ungefähr das Doppelte. Die Stromstärke ist aber im zweiten Falle ungefähr zwei mal geringer als im ersten. (Das genaue Verhältnis ist $= \frac{97}{51}$). Daraus folgt, dass diese Zeitdauer ungefähr umgekehrt proportional der Stromstärke ist.

Ein ganz ähnliches Resultat, welches Kohlrausch und Heydweiler[1] erhalten haben, ist in 3 angeführt worden.

52. Ein Polarisationsstrom, der von der Schwefelschicht ausgehen und auf die Resultate störend einwirken könnte, ist ausgeschlossen, da die Schwefelschicht mit Hilfe des Umschalters der Abzweigung AGDB (Fig. 9) erst in dem Augenblicke in den Kreis eingeschaltet wurde, als eben das Galvanometer durch Regulierung der Widerstände w_1 und w_2 in die Ruhelage gebracht wurde. Bis zu diesem Augenblicke aber war der metall. Widerstand eingeschaltet und die die Schwefelschicht umfassenden Stahlcylinder leitend mit einander verbunden.

53. Bei den Vorversuchen mit der in Tab. I und II angewandten Schwefelschicht ging zuerst (Stromquelle 1 Daniel) kein Strom durch, und erst bei 104 Volt vernahm man einen Oeffnungsknall, und das Galvanometer schlug dauernd aus. Während des Stromdurchganges hörte man im Telephon ein ruhiges Summen von vereinzelten Schlägen unterbrochen. Jetzt geht nun der Strom auch bei 1 Daniel durch, jedoch mit kaum vernehmbarem Summen. Bei 100

---

1. l. c.

Tabelle III.

Guttaperchapapier. Dicke 0.04 mm. Stromquelle 1. Daniel. Metallischer Widerstand 265 Ω. Stromstärke

$$i = \frac{1.1}{665} = 0.00165 \text{ Ampère.}$$

(a) Reihenfolge der Beobachtungen	(b) Stromdauer in ganzen Trommelumdrehungen	(c) Stromdauer in 10^{-6} einer sec.	(d) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: Guttaperchapapier mm	(e) 400 Ω mm	(f) Berechnete Ausschläge eines Widerst. v. $665 \frac{373.8}{374.0} =$ 665 Ω	(g) Das Verhältnis von (d) zu (f) $\frac{A}{B}$	Bemerkungen
1	0.1	12.4	1.0	2.97	Die Ausschläge sind bis auf die zweite Decimale gleich denjenigen der Kolumne (e)	0.336	Ablesung (d) unsicher
2	0.2	24.8	3.75	7.03		0 532	
3	0.3	37.2	9.09	9.92		[0.915]	Galvanom. unruhig.
16	0.3	37.2	7.23	9.50		0.751	
4	0.4	49.6	12.12	14.00		0.865	
17	0.4	49.6	12.00	13.50		0.889	
5	0.5	62.0	14.87	17.42		0.855	
6	0.7	86.8	23.12	24.80		0,934	
7	1.0	124.0	34.65	35.50		0.980	
8	1.5	186.0	53.50				
9	2.0	248.0	73.00	73.50		0.992	
10	3.0	372.0	109.38				
11	4.0	496.0	147.62				
12	5.0	620.0	184.2	185.6		0.996	
13	6.0	744.0	222.0				
14	8.0	992.0	278.8				
15	10.0	1240.0	374.0	373 8		1.000	

Tabelle IV.

4 Guttaperchablättchen. Dicken: 0.035 mm und 3 < 0.025 mm. Stromquelle 1. Daniel. Metallischer Widerstand 265 Ω. Stromstärke $i = \frac{11}{912} = 0.00121$ Ampère.

(a) Reihenfolge der Beobachtungen	(b) Stromdauer in ganzen Trommel-umdrehungen	(c) Stromdauer in 10^{-6} einer sec.	(d) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: 4 Guttaperchablättchen	(e) 700 Ω	(f) Berechnete Ausschläge eines Widerst. v. $965\frac{392.5}{415.7}=$ 912 Ω mm	(g) Das Verhältnis von (d) zu (f) $\frac{A}{B}$	Bemerkungen
1	0.1	12.4	1.0	2.0	2.12	0.481	
2	0.2	24.8	2.37	2.87	3.04	0.780	
15	0.2	24.8	4.13	3.83	4.06	[1.019]	sofortnach Schluss beobachtet
3	0.3	37.2	5.00	5.53	5.87	0.855	
4	0.4	49.6	6.23	8.05	8.52	0.732	
5	0.5	62.0	11.60	11.13	11.79	0.985	
16	0.5	62.0	11.70	11.55	12.22	0.957	
6	0.7	86.0	16.78	16.47	17.48	0,959	
7	1.0	124.0	25.18	23.68	25.10	1.003	
8	1.5	186.0	39.58	35.45	37.51	1.055	
9	2.0	248.0	53.10	49.80	52.80	1.009	
10	3.0	372.0	80.68	78.35	83.10	0.972	
11	4.0	496.0	108.8	102.9	109.0	1.000	
12	5.0	620.0	138.4	129.7	137.3	1.010	
13	6.0	744.0	276.0	260.0	275.5	1.002	
14	6.5	806.0	415.7	392.5	415.7	1.000	

Volt und 5000 Ω ist das Summen viel lauter, als bei 100 Volt und 10000 Ω. Bei 200 Volt und 10^4 Ω geht schon das Summen in einen singenden viel höheren Ton über, welcher weniger deutlich ist als der summende Ton bei 100 Volt und 5000 Ω.

Beobachtungen, die mit grösseren Stromstärken ausgeführt wurden, ergaben keine sicheren Resultate, da das Galvanometer sich dabei ungemein unruhig verhielt.

54. Bei den Beobachtungen mit Guttaperchapapier wurde die kleinere Stromquelle (1 Daniel) benutzt, da der Widerstand in diesem Falle viel kleiner war als der des Schwefels. Es wurde auch aus diesem Grunde ein Packet aus vier Blättchen — jedes zwischen zwei Messingplättchen — zur Untersuchung verwendet.

Im übrigen wurden die Beobachtungen genau so durchgeführt, wie es oben angegeben wurde.

Die erhaltenen Zahlen sind in den Tabellen III und IV zusammengestellt. Siehe S. (43—44.)

55. Wie aus Tab. III und IV zu ersehen ist, zeigt das Guttapercha dieselbe Erscheinung des Steigens des Leitvermögens mit zunehmender Stromdauer bis zu einer bestimmten Grenze.

Diese Grenze mit Sicherheit festzulegen, ist bei Guttapercha nicht gut möglich, da die Steigerung der Leitfähigkeit, die bei den kleinsten Stromdauern sehr rasch vor sich geht, mit zunehmenden Stromdauern ganz allmählich an Intensität verliert, so dass der Punkt, wo keine Steigerung mehr vorhanden ist, nicht scharf angegeben werden kann.

Jedenfalls sind diese Stromdauern, wie aus dem Ver-

gleich der Tabellen zu ersehen ist, beim Guttapercha viel grösser als beim Schwefel entsprechend den Stromstärken, die umgekehrt im ersten Falle kleiner sind als im zweiten. —

56. Die Beobachtungen mit Paraffin zeigten dieselbe Erscheinung des Steigens des Leitvermögens bis zu einer bestimmten Stromdauer. Die Untersuchung war aber dabei mit viel grösseren Schwierigkeiten verbunden, weil das Paraffin während der Beobachtung oft merkliche Verschiedenheiten des Verhaltens bei gleichen Stromdauern gezeigt hat, und es konnten nur wenige Versuchsreihen verwertet werden.

In den Tabellen V und VI (siehe S. 47) sind die erhaltenen Zahlen zusammengestellt.

57. Diese Tabellen zeigen, dass auch beim Paraffin das Anwachsen des Leitvermögens bis zu einem annähernd konstanten Wert umso rascher vor sich geht, je grösser die Stromstärke ist.

Die bereits erwähnte Veränderlichkeit des Zustandes dieses Dielectricums während einer Versuchsreihe gab Veranlassung, dasselbe nach einer anderen Methode zu untersuchen, die weniger Zeit in Anspruch nimmt.

58. Dieselbe bestand in Folgendem: Eine Weatstone'sche Verzweigung enthielt in den Zweigen Aa und Ab (Fig. 10) die beiden Hebelkontakte C_1 und C_2 des Pendelunterbrechers. Den Brückenzweig bildete die in der vorigen Anordnung beschriebene Abzweigung AGDB (vergl. Fig. 10), er enthielt also ausser dem Galvanometer auch das zu untersuchende Dielectricum samt Umschalter und Widerstandskasten. Wurde nun ein Kontakt, z. B. C_2, zuerst geöffnet,

Tabelle V.

2 Paraffinschichten. Dicken: 0.04 mm und 0.03 mm. Stromquelle 208 Volt. Metallischer Widerstand des Kreises 365 Ω. Stromstärke $i = \frac{2.08}{412} = 0.0050$ Ampère.

(a) Reihenfolge der Beobachtungen	(b) Stromdauer in ganzen Trommelumdrehungen	(c) Stromdauer in 10^{-6} einer sec.	(d) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: 2 Parraffinschichten	(e) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: 500 Ω	(f) Berechnete Ausschläge bei einem Gesamtwiderst. von $865 \frac{50}{103.3} = 412\ \Omega$	(g) Das Verhältnis von (d) zu (f) $\frac{A}{B}$	Bemerkungen
1	0.1	12.4	7.13	6.43	13.22	0.538	
2	0.2	24.8	16.00	13.33	27.41	0.583	
3	0.3	37.2	24.67	15.00	30.92	0.799	
4	0.4	49.6	36.33	20.00	41.22	0.881	
5	0.5	62.0	47.0	25.00	51.52	0.912	
6	1.0	124.0	103.3	50.00	103.3	1.000	

Tabelle VI.

Paraffinschicht. Dicke 0.04 mm. Stromquelle 208 Volt. Metallischer Widerstand des Kreises 10 165 Ω. Stromstärke $i = \frac{208}{10390} = 0.0200$ Ampère.

(a)	(b)	(c)	(d)	(e) 1000 Ω	(f) $11165\frac{120}{129}\ \Omega$	(g)	
3	0.05	6.2	20.7	21.7	23.3	0.890	
1	0.10	12.4	46.1	48.5	52.1	0.884	
4	0.10	12.4	44.0	39.5	42.5	1.035	
5	0.20	24.8	86.5	70.2	75.6	1.145	
2	0.30	37.2	151.3	139.7	149.9	1.010	
6	0.30	37.2	135.0	120.2	129.5	1.040	
7	0.40	49.6	168.0	156.0	168.0	1.000	

so ging ein Strom durch die Brücke AB, bis der Kontakt C_1 geöffnet wurde. Sind also die Widerstände der Zweige Aa, Ab, Ba, Bb ausgeglichen, so bleibt die Brücke stromlos, sowohl wenn beide Kontakte geschlossen, wie auch wenn beide offen sind.

Um die dämpfende Wirkung des geschlossen bleibenden Kreises AC_1aB auf die Galvanometer-Ausschläge thunlichst zu beseitigen, damit bei gegebener Stromstärke möglich grosse Ausschläge erhalten werden, wurde in den Zweig aB ein sehr grosser Widerstand von $10^6\ \Omega$ eingeschaltet. Der Zweig Bb enthielt $10^3\ \Omega$, ebensoviel erhielt Aa, und in Ab war nur ein geringer Widerstand von $1\ \Omega$ enthalten.

Da die Kontaktstellen der Hebelkontakte bei jedem neuen Schliessen einen etwas anderen Widerstand haben, so wurde zur Ausgleichung dieser Unterschiede der Teil cd aus einem Draht gebildet, längs welchem der Punkt A mittelst einer Mikrometerschraube verschoben werden konnte.

59. Dieses Verfahren hat wohl den grossen praktischen Vorzug vor dem vorigen, dass hier die Aenderungen der E. M. K. des Kettenzweiges nicht in Betracht kommen. Allein es ist nicht so einwandsfrei wie das zuerst angewandte wegen der sehr kurzen Zeiten, binnen welcher die Stromverteilung stattzufinden hat. Dieser Einwand fällt bei dem ersten Verfahren fort, da bei demselben der Schliessungskreis aus einem einfachen unverzweigten Kreise besteht. Nachdem aber nach dem ersten Verfahren das Verhalten des Dielectricums im Grossen und Ganzen be-

reits ermittelt wurde, und da es ausserdem nur auf die Verhältnisse $\frac{A}{B}$ der Ausschläge ankommt, so kann wohl dieses zweite Verfahren zur Ergänzung der erhaltenen Resultate dienen. Die mit demselben erhaltenen Resultate sind aus der folgenden Tabelle zu ersehen.

Tabelle VII.

Paraffinschicht. Dicke 0.04 mm. Stromquelle 104 Volt. Metallischer Widerstand des Kreises 8965 Ω. Stromstärke $i = \frac{104}{11200} = 0.0093$ Ampère.

(a) Reihenfolge der Beobachtungen	(b) Stromdaue in ganzen Trommelumdrehungen	(c) Stromdaue in 10^{-6} einer sec.	(d) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: Parraffinschicht	(e) Mittelwerte der Galvanometer-Ausschläge bei eingeschalteten: 1000 Ω	(f) Berechnete Ausschläge bei einem Gesamtwiderst. von 9965 $\frac{110}{98}$ Ω	(g) Das Verhältnis von (d) zu (f) $\frac{A}{B}$	Bemerkungen
1	0.05	6.2	2.56	3.52	3.14	0.817	
3	0.07	8.7	5.36	7.04	6.29	0.851	
4	0.085	9.7	7.40	9.22	8.23	0.898	
2	0.10	12.4	9.80	11.00	9.80	1.000	
5	0.10	12.4	8.35	12.36	11.14	(0.750)	Das Leitvermögen nimmt nun rasch ab!
6	0.20	24.8	18.50	33.67	29.99	(0.618)	
7	0.50	62.0	46.15	100.25	89.4	(0.516)	
8	1.00	124.0	5.0!	210.0	179.3	(0.028)	

60. Bei der Beurteilung obiger Resultate ist die Reihenfolge, in der die einzelnen Beobachtungen ausgeführt werden, zu beachten.

Damit man nämlich von den oben erwähnten Veränderungen des Paraffins während des Versuches unabhängig ist, wurden die Beobachtungen, wie aus Kolumme (a) zu ersehen, in einer solchen Reihenfolge ausgeführt, dass das Anwachsen des Leitvermögens mit der Stromdauer unmöglich einer Veränderung im Dielectricum zugeschrieben werden kann. Das Leitvermögen stieg an bis zu einer Stromdauer von 0.1 Trommelumdrehung. Bei der wiederholten Beobachtung mit dieser Stromdauer, sowie bei den folgenden zeigte sich nun eine Aenderung im Zustande des Dielectricums: sein Leitvermögen nahm allmählich ab, bis es gänzlich verschwand. Allein es ist durch die Reihenfolge der Beobachtungen 1—4 die Sicherheit dafür gewonnen, dass das bereits beobachtete Ansteigen des Leitvermögens des Paraffins bei sehr geringen Stromdauern nicht den Zustandsänderungen desselben, sondern den Grössen dieser Stromdauern zugeschrieben werden muss. —

61. Die in 31. bis 33. aufgestellten Betrachtungen, welche zur Annahme geführt haben, dass der Vorgang im Dielectricum unmittelbar nach Stromschluss ein veränderlicher sein muss, haben somit in den beschriebenen Versuchen eine experimentelle Stütze erhalten: der vermutete veränderliche Vorgang besteht nach den erhaltenen Resultaten in einem Ansteigen des Leitvermögens bis zu einem Grenzwert binnen einer Zeitdauer, die umso kürzer ausfällt, je grösser die Stromstärke ist.

In der vorliegenden Arbeit glaube ich folgende Resultate erreicht zu haben:

I. Die Schwankungen des Widerstandes in dünnen Schichten sehr schlecht leitender fester Körper, wie Guttapercha, Paraffin und Schwefel, nehmen mit wachsendem Drucke, dem sie ausgesetzt werden, ab. Dabei ändert sich aber die Grösse des Widerstandes auch dauernd, und zwar nimmt der Widerstand des Guttaperchas mit wachsendem Drucke ab; der Widerstand des Paraffins nimmt mit wachsendem Drucke zu und derjenige des Schwefels ändert dabei seine Grösse sehr wenig.

II. Es besteht ein vollständiger Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des Schwankens und raschen Steigens oder Fallens der Galvanometer-Ausschläge einerseits — und einer Reihe von Erscheinungen, die im Telephon wahrgenommen werden können, anderseits. Dieser Zusammenhang findet seine Erklärung in der Annahme, dass der beobachtete Strom ein diskontinuierlicher ist.

III. Der Widerstand der betrachteten Dielectrica nimmt unmittelbar nach Stromschluss bis zu einem bestimmten Grenzwerte ab. Die Dauer dieser Widerstandsabnahme ist umso geringer, je grösser die Stromstärke ist. —

Zum Schlusse möchte ich noch Herrn Professor Dr. L. Graetz für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie für die Leitung derselben und die mir erteilten Ratschläge meinen ergebensten Dank aussprechen.

München, Physikal. Institut der Universität. Februar 1900.

Berichtigungen: Seite 30 Anm. 1 lies: 1899 statt 1829 — S. 34 Zeile 16 lies: $\varkappa$ statt k. — S. 41 Z. 18 lies: Stromdauern.

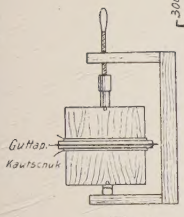

Fig. 1

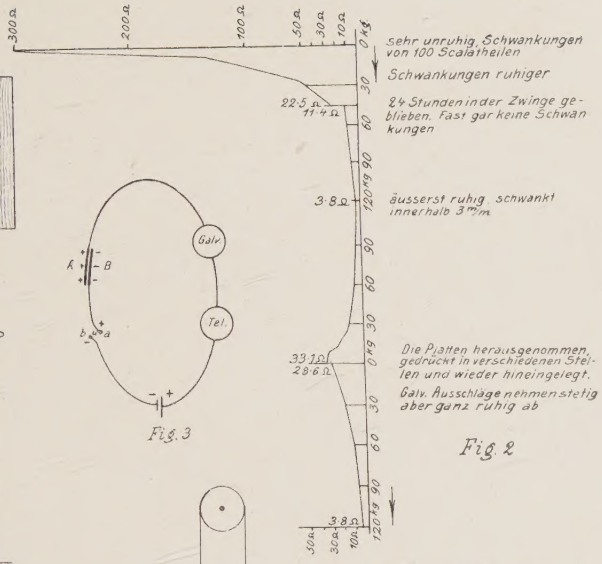

Fig. 2

Fig. 3

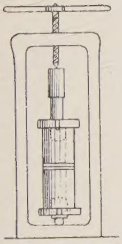

Fig. 4

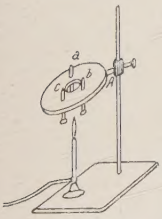

Fig. 5

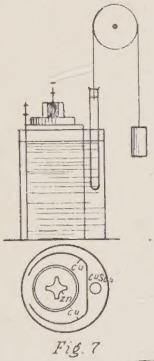

Fig. 7

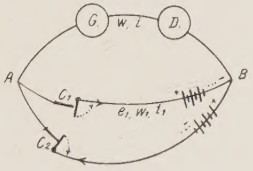

Fig. 6

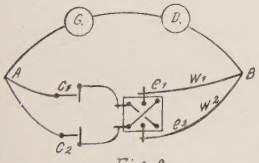

Fig. 8

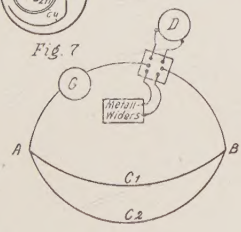

Fig. 9

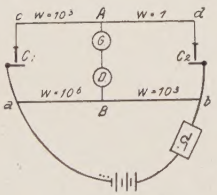

Fig. 10